

# 一种用于海上风电发电机定子绝缘防腐的涂装工艺

贺晓泉, 安磊, 尚景宏, 吴华平

(中海油新能源投资有限责任公司, 北京 100016)

**摘要:** 介绍了一种应用在海上风电发电机定子的绝缘防腐涂装工艺流程、制作和性能测试, 对海上风电设备的绝缘防腐有一定参考作用。

**关键词:** 海上风电; 发电机; 定子; 绝缘防腐

**中图分类号:** TG174.46

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1005-748X(2012)07-0640-03

## A Coating Process for Offshore Wind Power Generator Stator Anti-corrosion Insulation

HE Xiao-quan, AN Lei, SHANG Jing-hong, WU Hua-ping

(CNOOC New Energy Investment Co., Ltd., Beijing 100016, China)

**Key words:** offshore wind power; generator; stator; anti-corrosion insulation

发电机是风力发电机组的重要组成部分, 发电机在陆地上运行, 会受到雨水、风沙的侵蚀, 一旦发电机的绝缘子受到雨水的侵蚀, 绝缘电阻很快会降到很低的水平, 严重时甚至会为零; 如果风沙侵入发电机内部, 灰尘可能会附着在线圈端部使爬电距离不够, 造成电晕。

发电机在海边、海上运行, 会受到雨水、盐雾、霉菌的侵蚀和破坏, 由于海上盐分比较高, 设备腐蚀比较严重, 容易使发电机定子铁心生锈; 同时, 发电机应用在海上风电时, 不同于海上钻井平台, 受到腐蚀时可以随时修补, 因其特殊的地理环境和技术要求, 维修费用极高。这些情况都会影响发电机的正常运行, 因此必须对发电机进行防腐处理。

目前通常采用的发电机防腐处理是在发电机定子表面涂抹醇酸树脂, 但醇酸树脂耐水性、耐盐雾都较差, 其防腐效果并不好。为提高发电机海上应用防腐性能, 本文是在原有基础上进行改进, 对发电机定子提供一种具有较好的绝缘防腐性能。

## 1 材料及设备

### 1.1 定子组成

绝缘防腐发电机定子主要包括: 电力设备本体、绝缘防腐涂层(由靠近电力设备本体的不饱和聚酰亚胺无溶剂浸渍树脂层和暴露在外的氟硅橡胶层

胶层组成)(见图 1 和图 2)。

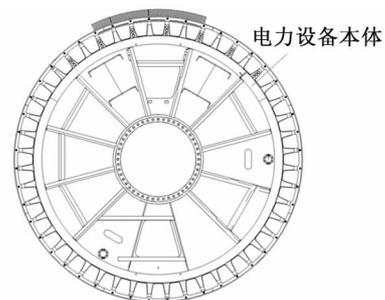


图 1 发电机定子本体剖面图

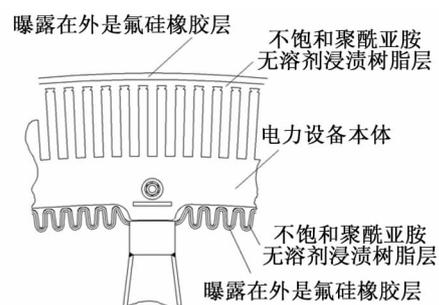


图 2 发电机定子局部放大剖面图

### 1.2 试剂及设备

(1) 主要材料 浸渍漆: F/H 级聚酯亚胺无溶剂浸渍漆; 表面覆盖外绝缘用持久性复合防腐涂料(氟硅橡胶)。

(2) 主要工艺装备及工具 浸漆设备、烘烤房、压缩空气喷枪、粘度计、1000 V 级摇表、定子专用吊具、钢丝刷等。

收稿日期: 2012-01-20

通信作者: 贺晓泉, 工程师, 硕士, hexiaoquan@126.com

## 2 工艺流程

该涂装工艺是在发电机定子表面浸渍不饱和聚酰亚胺无溶剂浸渍树脂,然后再喷涂2层氟硅橡胶。

### 2.1 定子本体包覆不饱和聚酰亚胺无溶剂浸渍树脂层

(1) 在室温不低于20℃,环境湿度不高于40%条件下,用不饱和聚酰亚胺无溶剂浸渍树脂浸渍发电机定子本体。

将发电机定子使用特殊工装固定,使其竖向直立,使用吊车将定子及工装就位于滚浸槽上,滚浸槽中注入不饱和聚酰亚胺无溶剂浸渍树脂,直至没过定子表面(注意,页面不宜太高,以刚刚没过散热孔为宜)。使用电机匀速带动工装转动,使不饱和聚酰亚胺无溶剂浸渍树脂均匀浸满定子表面。在滚浸过程中,注意不饱和聚酰亚胺无溶剂浸渍树脂及时添加。在全部滚浸完成后(一般为3~4圈),使用细锉刀去除表面滴流,见图3。



(a) 浸渍前

(b) 浸渍后

图3 定子滚浸

(2) 发电机定子吹净后放进烘房,去除绕组内的潮气及低分子挥发成份,烘干条件为:120℃、2h。

发电机定子本体表面包覆的不饱和聚酰亚胺无溶剂浸渍树脂层的厚度为0.06mm。

### 2.2 树脂层外包覆氟硅橡胶层

氟硅聚合物及氟硅橡胶是以-Si-O-为主链,-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CF<sub>3</sub>为侧链的含氟聚硅氧烷,由于主链为半无机的有机硅结构,由于含氟基团的引入,它在保持有机硅材料的耐热性、耐寒性、耐高电压性、耐气候老化等优异性能的基础上,又具有有机氟材料优异的耐烃类溶剂、耐油、耐酸碱性和更低的表面能性能,具有生理惰性、良好的防霉性。

(1) 将步骤2.1中得到的发电机定子置于支撑支架上,引出线端部朝上。

(2) 用氟硅橡胶对定子端部进行灌封,使氟硅橡胶填满绝缘纸与线圈之间的空隙和绝缘纸与铁心槽之间的空隙。

(3) 用氟硅橡胶对定子端部进行涂封,使氟硅橡胶完全包覆齿压板和端部裸露的绝缘纸。

(4) 用压缩空气喷枪对定子线圈端部喷涂氟硅橡胶,确保定子线圈端部所有的部位都要喷涂完整,喷涂厚度为0.60mm。

(5) 沿着定子铁心圆周方向,对定子铁心表面和散热齿喷涂氟硅橡胶,确保铁心表面和散热齿均匀喷涂完整(见图4)。喷涂厚度为0.50mm。



图4 补喷及槽口涂封

(6) 定子铁心表面喷涂完成6h后,将定子翻身(翻转180°),按照上述步骤喷涂定子暴露在外的其余部分。

干燥后,定子线圈端部包覆的氟硅橡胶层的厚度为0.60mm,定子铁心表面和散热齿包覆的氟硅橡胶层3的厚度为0.50mm,得到了绝缘防腐发电机定子(见图5)。

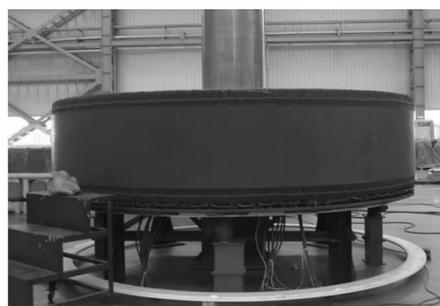


图5 成型后的发电机定子

### 2.3 性能测试

为使该工艺制作的发电机定子绝缘电阻、吸水率、附着力、耐盐雾等性能达到海上风电机组的相关要求,以上述方法得到的绝缘防腐发电机定子为样品,对相关性能进行测定,测定结果见表1和表2。

表 1 检测项目及结果

序号	检测项目	标准文件	技术要求	检测结果
1	外观	涂层平整	平整、光滑且没有气泡	—
2	附着力	GB 1720-1989	≤1级	1级
3	耐化学试剂 (酸、碱、盐)	GB 1763-1989	室温下 3%试剂作用 24 h 无脱落、起皱、变色	24 h, 无起皱、起泡
4	耐温变性 (-50~100 ℃)	5次 2.5 h 温度循环 无损坏,附着力≤2级	5次循环, 附着力 1级	—
5	吸水率	GB/T 1733-1993	≤0.3%	0.16%
6	耐霉菌	IEC 68-2-10	— pH6.8 的 5%氯化钠盐	长霉级别:3级 样品表面无明显
7	耐盐雾	GB/T 10125-1997	溶液,35 ℃持续 240 h, 无起泡、脱落现象	变化,未出现开裂、 粉化和变色现象

经过性能测定表明:采用该工艺制作的发电机定子电力设备可以达到海上风电机组的相关绝缘防腐性能要求。

### 3 应用情况

采用该涂装工艺制作的发电机,在渤海海上风电示范站中的海上风力发电机组得到应用,截止目前该发电机组已平稳运行 3 年时间。针对海上风电其他的绝缘防腐电力设备也可参照该工艺进行制作,其绝缘防腐性能与绝缘防腐发电机定子基本相同。

表 2 检测项目及结果

序号	检验内容	技术要求	实测值					
			1	2	3	4	5	6
1	每相电阻值与典型值之差与典型值之比≤±4% 三相不平衡量≤2% 环境温度:25 ℃	电阻值 Ω	1U1	1V1	1W1	2U1	2V1	2W1
		0.018(20 ℃)	0.0175	0.0175	0.0175	0.0175	0.0175	0.0175
		与典型值之比	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%
		三相不平衡量	0%			0%		
2	每相对地电容值 (未接中性点时)/μf 每组电容值(中性点对地)/μf	环境温度 ℃	1U1	1V1	1W1	2U1	2V1	2W1
		29	0.0186	0.0186	0.0186	0.0186	0.0186	0.0186
		≥0.56	N1:0.62			N2:0.62		
3	每相对地冷态绝缘电阻/MΩ	≥250	1500	1500	1500	1500	1500	1500
4	绕组间绝缘电阻值不小于/MΩ	≥250	600	500	500	500	500	600
5	每相对地热态绝缘电阻值/MΩ(60 ℃)	≥50	60	60	60	60	60	60
6	PT100 对地绝缘电阻/MΩ	≥260	2000	2000	2000	2000	2000	2000
7	对地耐压 3000 V,1 min	不击穿	未击穿					
8	匝间高频脉冲耐压试验波形一致	4.2 kV 5 个脉冲	波形一致					

(上接第 639 页)

(3) 联合保护<sup>[3]</sup> 由于海水腐蚀性极强,某些设备单利用阴极保护或涂防护层保护难以达到理想的处理效果,这时可采用阴极与防护层的联合保护。如循环水进回水管多采用牺牲阳极与防护层联合保护。

(4) 采用循环水阻垢和杀菌技术<sup>[4]</sup> 采用循环水阻垢和杀菌技术可阻止海水中的沉积物附着在设备表面,破坏蚀坑形成条件,降低设备的腐蚀率。

(5) 合理选材 根据所处条件,对设备进行合理选材,必要时应咨询相关专业人员。

### 参考文献:

[1] 徐勇. 北仑电厂某机循环泵轮毂腐蚀原因分析及处理[J]. 石油工程建设发电设备,2004(2):89-91.  
 [2] 闫林娜,尹衍升,常雪婷,等. 304 不锈钢在微生物介质中的腐蚀行为[J]. 中国腐蚀与防护学报,2008,28(1):34-37.  
 [3] 陈强,詹田友,陈伟. 湛江发电厂循环水泵的腐蚀防护综合治理[J]. 广东电力,2003,30(8):66-68.  
 [4] 郑纪勇. 海洋生物污损与材料腐蚀[J]. 中国腐蚀与防护学报,2010,30(2):171-176.